

# Dioxine und Furane im Kremationsprozess und ihr katalytischer Abbau

---

## Inhaltsübersicht:

1. Einleitung
2. Herkunft der Dioxine und Furane im Kremationsprozess
3. Dioxine - und Furaneemissionen aus Krematorien
4. Katalysatoren zur Dioxine - und Furaneminderung
5. Erfahrungen beim Einsatz von Katalysatoren in Krematorien
6. Zusammenfassung

## 1. Einleitung

Die Krematorien sind seit dem 01.05.1997 emissionsseitig im Rahmen einer eigenen Verordnung, der 27. BImSchV (Krematorien), reglementiert.

Einer der wesentlichen Grenzwerte ist der für Dioxine und Furane, der mit  $0,1 \text{ ng TE/m}^3$  (im Normzustand trocken und auf einen Sauerstoffgehalt von 11 Vol. % bezogen) analog der 17.BImSchV (Abfallverbrennungsanlagen) geregelt ist.

Dieser Grenzwert stellt die Hersteller von Kremationsanlagen vor eine erhebliche Herausforderung, da keiner der einschlägigen Anbieter vorher mit der Problematik dieser hochtoxischen Verbindungen konfrontiert war und somit keine Erfahrungen vorlagen.

Die bei den Bundeserhebungen zur Emission aus Krematorien durchgeführten Messungen an Einäscherungsanlagen ergaben Werte zwischen  $1,4$  und  $14 \text{ ng TE/m}^3$  [1]. Somit war es notwendig, effektive Minderungsmaßnahmen im Gesamtanlagenkonzept vorzusehen, da diese hohe Belastung nicht allein durch Primär- und Sekundärmaßnahmen, wie Reduzierung von chlorhaltigen Einsatzstoffen und Optimierung der Verbrennung, unter den Grenzwert zu senken ist.

Die neuen Anlagenkonzepte orientieren sich maßgeblich an den in den Abfallverbrennungsanlagen erreichten Stand der Technik. Als wesentlichste Verfahren zur Reduzierung von Dioxinen und Furanen kommen dort Sorptionsanlagen mit Herdofen- oder Aktivkoks (Festbett- oder Wirbelschichtadsorber) sowie Oxidationskatalysatoren zur Anwendung [2;3;4;5;6].

Der Einsatz solcher Rauchgasreinigungskomponenten stellt aber auch eine ganz neue Qualität für den Nutzer dar, der nunmehr eine Verbrennungsanlage betreibt, bei der die emissionsrechtlichen Belange im Vordergrund stehen.

Deutschlandweit gibt es derzeit 111 Krematorien, von denen bisher ca. 43 % auf die Erfordernisse der 27.BImSchV umgerüstet wurden [7]. Davon wurden ca. 60 % mit Adsorptionsanlagen ausgerüstet, in ca. 38 % wurden Katalysatoren zur Dioxine- und Furaneminimierung eingebaut. Die daraus erwachsene beträchtliche Erhöhung der Investitions- und Betriebskosten zwingt dazu, die Minimierungstechnik sowohl von der Dimensionierung als auch vom Betrieb und Unterhalt her zu optimieren.

Das Ingenieurbüro Groschwitz & Sommer GbR hat sich schon frühzeitig mit der Problematik der Dioxine- und Furaneemissionen aus Krematorien beschäftigt und dabei auf den Einsatz von Katalysatoren orientiert, da diese die Schadstoffe abbauen und nicht wie die Sorptionsanlagen speichern.

Nachfolgend sollen erste Erfahrungen beim Einsatz von Katalysatoren in Einäscherungsanlagen dargelegt und diskutiert werden.

## 2. Herkunft der Dioxine und Furane im Kremationsprozess

Für die in den Abgasen aus Krematorien nachgewiesenen Dioxine- und Furaneemissionen sind folgende Eintragswege bzw. Entstehungsprozesse bekannt:

*Unvollständig verbrannte Dioxine und Furane, die Bestandteil der Einsatzstoffe sind*

Dioxine und Furane sind eine Stoffgruppe, die in die Umwelt durch das Wirken des Menschen eingetragen werden. Besondere Belastungspfade sind die Chlorchemie, die Metallurgie, der Hausbrand und der Verkehr. Auf Grund ihrer spezifischen physikalisch-chemischen Eigenschaften werden die Dioxine und Furane unter natürlichen Bedingungen nur schwer abgebaut und verbleiben lange Zeit in der Umwelt. Von dort gelangen sie in die Nahrungskette des Menschen, wo sie im Fettgewebe gespeichert werden. Bei jeder Einäscherung gelangt somit eine bestimmte Menge von diesen Giften als Bestandteil des Verstorbenen mit in die Verbrennung.

Zum thermischen Abbau der eingetragenen Dioxine und Furane sind Temperaturen von  $>850^{\circ}\text{C}$  und Verweilzeiten von ca. zwei Sekunden notwendig. Liegen diese Voraussetzungen im Verbrennungsprozess nicht vor, so werden die Schadstoffe nicht vollständig zerstört und emissionswirksam. Aus diesem Grund fordert die 27.BImSchV im §3 Abs. 2 eine Mindesttemperatur von  $850^{\circ}\text{C}$  nach der letzten Verbrennungsluftzuführung, die sich allgemein in der Nachverbrennungskammer der Einäscherungsöfen befindet. Die Einhaltung der Verweilzeit von mindestens zwei Sekunden in diesem Temperaturniveau ist zwar nicht Bestandteil der Forderung der 27. BImSchV, sollte aber von den Anbietern der Kremationsanlagen im Rahmen der technischen Anlagendokumentation, die jeder Betreiber erhält, nachgewiesen werden.

In Tabelle 1 sind einige Angaben zusammengestellt, die es erlauben, eine Vorstellung von der Höhe des eingetragenen Dioxine- und Furanepotentials durch den Leichnam zu bekommen. Dabei ist von der Vorstellung ausgegangen worden, dass die Schadstoffe im Blutfett des menschlichen Körpers abgelagert sind.

Tabelle 1: Dioxine- und Furanepotential im menschlichen Körper

gemessener Blutfettwert [9]	19 – 65 ng pro kg Blutfett
Blutfettgehalt des Menschen	ca. 3 g pro Liter Blut
Blutmenge des Menschen	ca. 7 Liter
absoluter Dioxineintrag	0,4 bis 1,4 ng pro Einäscherung
Rauchgasvolumen pro Einäscherung	ca. 2.000 Nm <sup>3</sup>
Dioxin- und FuraneKonzentration bei 100% Emission (100 % unvollst. Verbrennung)	0,0002 bis 0,0007 ng/Nm <sup>3</sup>
Grenzwert gemäß 27. BImSchV	0,1 ng/Nm <sup>3</sup>

Aus den Angaben der Tabelle 1 kann man ersehen, dass der Anteil der mit dem Leichnam eingetragenen Dioxine und Furane selbst bei 100%-er Emission nur sehr gering im Verhältnis zu den tatsächlich gemessenen Emissionswerten [1] ist.

*Bildung aus verwandten chlorierten Vorläuferverbindungen (PCB; PCP; chlorierte Benzole) über homogene Gasphasenreaktionen bei 800 °C bis 300 °C*

Eine weitere Eintragsmöglichkeit in den Kremationsprozess ist die Verwendung bestimmter Bestattungsmaterialien, die potentielle Ausgangsstoffe für Dioxine und Furane enthalten. Hier sei besonders auf das p-Dichlorbenzol hingewiesen, das als Geruchsmaskierer eingesetzt wird. Aber auch Desinfektions- und Holzschutzmittel können Vorläuferverbindungen zur Dioxinsynthese enthalten (Chlorphenole) [1].

Werden diese Stoffe bei der Verbrennung nicht ebenfalls vollständig zerstört, so können sie als Ausgangsstoffe für die Bildung von Dioxinen und Furanen über Kondensationsreaktionen dienen.

Durch die Vermeidung des Einsatzes solcher bedenklichen Stoffe kann diese Möglichkeit aber vermindert oder gar ausgeschlossen werden [8].

*Bildung aus nichtchlorierten organischen Materialien bei Anwesenheit einer Chlorquelle (De-novo-Synthese) über heterogene Festkörperreaktionen bei 450 °C bis 250 °C*

Die Bildung von Dioxinen und Furanen kann unter bestimmten Bedingungen auch aus elementarem Kohlenstoff erfolgen (De-novo-Synthese). Die betreffenden chemischen Reaktionen sind sehr komplex und noch nicht vollständig erkannt.

Allerdings ist gesichert, dass als Ort der Entstehung der in den Verbrennungsanlagen vorhandene Staub anzusehen ist. An ihm sind die unverbrannten Kohlenstoffteilchen angelagert, ebenso wie bestimmte Schwermetalle, die durch ihre katalytische Wirkung die Bereitstellung von elementarem Chlor erst ermöglichen. Neben den Schwermetallen sind weiterhin Sauerstoff und Chlorverbindungen für diesen Bildungsweg notwendig. Sie kommen aber in jeder Kremationsanlage in ausreichender Menge vor.

Die wesentlichen Einflussfaktoren auf die Dioxine- und Furaneneubildung an Flugaschen sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Einflussfaktoren auf die Dioxine- und Furaneneubildung an Flugaschen

<b>Einflussfaktor</b>	<b>Tendenz</b>	<b>Neubildung von Dioxinen und Furanen</b>
Temperatur	ansteigend	bis ca. 300 °C → Neubildung über 300 °C → Abbau
Sauerstoffgehalt	ansteigend	steigt oberhalb 10 % steil an
Unverbranntes	ansteigend	ansteigend

Somit ist generell die Möglichkeit gegeben, dass aus unverbrannten organischen Materialien (Gesamtkohlenstoff) Dioxine und Furane in der Einäscherungsanlage nach dem Ofen neu gebildet werden. In welchem Umfang dies geschieht, hängt maßgeblich von der Güte der Verbrennung im Ofen ab. Schlechte Ausbrandverhältnisse haben einen hohen Anteil an Unverbranntem und hohe Dioxin- und Furaneemissionen zur Folge (Krematorium 2 – Bild 1), während Anlagen mit einer guten Verbrennung deutlich niedrigere Gehalte an Gesamtkohlenstoff und Dioxinen und Furanen aufweisen.

Als Betreiber kann man sich anhand der Farbe der Filterasche (soweit kein kohlenstoffhaltiges Sorbens vor dem Filter eingetragen wird) von der Güte der Verbrennung und damit der zu unterstellenden Dioxine- und Furanefracht ein Bild machen. Je dunkler die Asche, um so schlechter die Verbrennung und um so höher die Dioxine- und

Furaneemissionen. Analog ist auch der Anlagenzustand zu bewerten. Je verschmutzter eine Anlage ist, zum Beispiel durch starke Staubablagerungen am Wärmetauscher, um so höher ist ihr Dioxinbildungspotential einzuschätzen.

### 3. Dioxine- und Furaneemissionen aus Krematorien

Der Grenzwert für die Dioxine und Furane ist in der 27. BImSchV mit 0,1 ng TE/Nm<sup>3</sup> bezogen auf einen Sauerstoffgehalt von 11 % festgelegt.

Die Dioxine und Furane sind eine Stoffgruppe von 210 Einzelverbindungen (75 Dioxine und 135 Furane, sogenannte Kongenere), die von ihrer Struktur her große Ähnlichkeiten miteinander aufweisen (polychlorierte aromatische Ether). Die Einzelverbindungen haben zwar die gleiche Giftwirkung – gleiche Reaktion auf Körperorgane – aber unterschiedliche Wirksamkeit – gleiche Schädigung erfordert unterschiedliche Dosis. Diese unterschiedliche Wirksamkeit wird durch sogenannte Toxizitätsäquivalente (TE) berücksichtigt, d.h., man setzt die einzelnen Verbindungen ins Verhältnis zum giftigsten Vertreter, dem 2,3,7,8-Tetrachlordibenzo-p-dioxin (Äquivalenzfaktor 1), und wertet ihre Giftigkeit durch einen Äquivalenzfaktor entsprechend ihrem Beitrag zur Giftwirkung.

Die Äquivalenzfaktoren der in Frage kommenden 17 Einzelverbindungen sind im Anhang 2 der 27.BImSchV benannt. Sie liegen zwischen 1 und 0,001 TE, wobei die niedrigchlorierten Verbindungen (4 bis 5 substituierte Chloratome) toxischer sind als die hochchlorierten Vertreter und die Furane weniger giftig als die Dioxine.

Um zu sehen, welche Dioxine und Furane im Kremationsprozess an den verschiedenen Stellen einer Verbrennungsanlage nachweisbar sind, hat das Ingenieurbüro Groschwitz & Sommer GbR bereits 1995 eine umfangreiche Messreihe von 39 Einzelmessungen in einem Krematorium durchgeführt

Die betreffende Kremationsanlage besteht aus einem gasbeheizten Etagenofen mit nachgeschaltetem kombinierten Wärmetauscher (1.Stufe Abgas/Luft - 2. Stufe Abgas/Wasser) und einem Gewebefilter zur Staubabscheidung. An dieser Anlage wurden 6 Probenahmestellen eingerichtet und die Entnahme der Gasproben parallel über 7 Einäscherungen durchgeführt. In der Tabelle 3 sind die einzelnen Probenahmestellen beschrieben.

Tabelle 3: Probenahmestellen

Messtelle	Räuml. Anordnung	Temperaturbereich	Probenzahl und Probenahmedauer
1	Mineralisierung im Ofen	700 bis 720 °C	7 je 1 Stunde
2	Abgang Ofen (Nachverbrennung)	660 bis 1.100 °C	7 je 1 Stunde
3	zw. 1. und 2. Stufe des Wärmetauschers	550 °C	7 je 1 Stunde
4	vor Filter	140 °C	7 je 1 Stunde
Reingas	Messtelle am Kamin	120 °C	3 je 6 Stunden
Filterstaub	Filterstaubtonne	50 °C	8 je 1 Stunde

*Schlussfolgerungen:*

1. Die Furane haben einen erheblich höheren Anteil an der Gesamtemission als die Dioxine.
2. Bei den Furanen dominieren die niedrigchlorierten Verbindungen deutlich gegenüber den hochchlorierten Verbindungen.
3. Bei den Dioxinen besitzen die niedrigchlorierten Einzelverbindungen ebenfalls einen größeren Anteil als die hochchlorierten, jedoch ist die Dominanz nicht so ausgeprägt wie bei den Furanen.

Diese Aussagen sind nach unseren bisherigen Erfahrungen für viele Kremationsanlagen unabhängig von der Anlagenkonfiguration zutreffend. Lediglich bei den Dioxinen ist die Dominanz der niedrigchlorierten Verbindungen nicht überall nachweisbar. Hier verschieben sich die höheren Gehalte teilweise zu den mittel- und hochchlorierten Verbindungen hin. Interessant ist die Feststellung, dass die Reingaswerte zum damaligen Zeitpunkt auch ohne Minimierungstechnik für Dioxine und Furane unter dem geforderten Grenzwert lagen. Die Werte sind in Tabelle 4 enthalten.

Tabelle 4: Ergebnisse der Reingasmessungen

22.08.1995	0,013ng TE/Nm <sup>3</sup> *
23.08.1995	0,018ng TE/Nm <sup>3</sup> *
24.08.1995	0,012ng TE/Nm <sup>3</sup> *

\* bezogen auf 11 % O<sub>2</sub>

*Schlussfolgerungen:*

1. Ein neues Krematorium kann den Grenzwert für Dioxine und Furane zeitweise auch ohne separate Minderungstechnik einhalten.
2. Die Emissionen bei kurz aufeinanderfolgenden Messungen können erheblich schwanken, sind oftmals aber auch sehr ähnlich (Problematik der geforderten Anzahl von Messungen gemäß 27.BImSchV – 1; 2 oder 3 Einzelmessungen ?).
3. Die hohen Dioxinwerte bei den Messungen an Altanlagen wurden bei dieser Anlage zu keinem Zeitpunkt gefunden. Hier scheint sich die moderne Verbrennungsregelung auszuzahlen.
4. Auch nach Perioden erhöhter Emissionen (Messungen am 04.03.1998 und 14.09.1999) sind die Emissionswerte wieder in den Bereich des Grenzwertes abgesunken. Ein dauerhaft hohes Emissionspotential wurde nicht nachgewiesen.

Zusammenfassend kann man sagen, dass moderne Krematorien ein erheblich niedrigeres Dioxine- und Furanebildungspotential haben als die Altanlagen vor 1993. Es sollte bei 0,3 bis 1,0 ng TE/Nm<sup>3</sup> bezogen auf 11 % Sauerstoff liegen. Höhere Emissionen sind Ausdruck einer unzulänglichen Verbrennungsführung. Die nachgeschaltete Rauchgasreinigung kann somit

gegenüber früheren Annahmen geringer dimensioniert werden, was die Investitions- und Betriebskosten senken hilft.

#### **4. Katalysatoren zur Dioxine- und Furaneminderung**

Auch bei Installation einer zeitgemäßen Verbrennungsregelung ist die dauerhafte Einhaltung des Grenzwertes für Dioxine und Furane ohne gesonderte Minimierungstechnik nicht möglich. Somit ist die Installation einer zusätzlichen Baugruppe zum Abbau dieser Schadstoffe unumgänglich. Dies erhöht aber die Investitions- und Betriebskosten gegenüber früheren Anlagen erheblich (ca. 25 – 35 %).

Bei den derzeit umgerüsteten Anlagen haben sich zwei Reinigungsverfahren in den Krematorien etabliert [7]. Zum einen die Sorbentechnik, bei der die Schadstoffe adsorptiv an einem Sorbens (Herdofenkoks oder Aktivkohle) angelagert werden, zum anderen die Katalysatortechnik, bei der die Schadstoffe mittels katalytisch wirkender Metalloxide zerstört werden.

Eine Gegenüberstellung beider Verfahren enthält Tabelle 5, wobei für die Sorbentechnik das Flugstromverfahren als das am weitesten verbreitete Verfahren gewählt wurde.

In der Tabelle werden die Vorteile der Katalysatoren gegenüber dem Sorbensverfahren deutlich:

1. Dioxine und Furane werden abgebaut
2. Keine Erhöhung der zu entsorgenden Staubmenge
3. Bedienfreier Betrieb
4. Wartungsarm, besonders bei Einsatz hinter dem Filter
5. hohe Betriebssicherheit

Der derzeit größte Nachteil sind die fehlenden zuverlässigen Angaben zu den Standzeiten der Katalysatoren. Die Standzeit und der dann notwendig werdende Katalysatorwechsel bestimmen maßgeblich die Folgekosten bei Einsatz dieser Technik. Diese Unsicherheit ist das größte Hemmnis bei der weiteren Verbreitung von Katalysatoren zur Rauchgasreinigung in Krematorien, denn die Gesamtinvestitionskosten sind bei einer Neuanlage mit katalytischer Reinigung mittlerweile identisch mit den Kosten einer Neuanlage unter Einsatz eines Flugstromadsorbers.

#### **5. Erfahrungen beim Einsatz von Katalysatoren in Krematorien**

Katalysatoren zur Reinigung der Abgase aus Verbrennungsanlagen sind i. d. R. keramische Wabenkörper mit durchgehenden Kanälen, an deren Oberflächen die katalytisch aktiven Verbindungen sitzen. Sie sind seit den 80-er Jahren Stand der Technik [10] und wurden damals hauptsächlich zur Entstickung eingesetzt. Anfang der 90-er Jahre fand man heraus [11], dass diese Katalysatoren auch in der Lage waren, Dioxine und Furane abzubauen. Weitreichende Untersuchungen und Erfahrungswerte aus bereits realisierten Anlagen lassen dabei Standzeiten größer 12.000 Betriebsstunden erwarten [12; 13].

In Krematorien sind Katalysatoren seit 1996 im Einsatz [8]. Ihre Installation erfolgt entweder vor einem Filter (high-dust-Betrieb) im Rohgas oder hinter einem Filter (low-dust-Betrieb) im

Reingas. Beide Möglichkeiten sind in Krematorien realisiert worden und haben nachweislich die Einhaltung des Grenzwertes gesichert.

Der Unterschied zwischen beiden Varianten ist in Tabelle 6 dargestellt. Neben dem Einsatzort und der damit verbundenen erhöhten oder minimalen Staubfracht sind die Betriebstemperaturen von Bedeutung. Je höher die Katalysatorbetriebstemperatur ist, um so mehr liegen die Dioxine und Furane gasförmig vor und können mittels dem Katalysator optimal abgebaut werden. Je niedriger die Betriebstemperatur ist, um so mehr liegen diese Schadstoffe am Staub kondensiert vor. Eine Einhaltung des Grenzwertes ist dann nur in Verbindung mit einer effektiven Entstaubung möglich.

Aus dem Einsatz des Katalysators im staubbeladenen Rohgas (high-dust-Betrieb) vor dem Filter ergibt sich die Forderung, die Katalysatorkanäle ausreichend groß zu dimensionieren (ca. 4 x 4 mm), um ein Verstopfen zu vermeiden. Bei den derzeit im Einsatz befindlichen 6 Aggregaten sind vor den eigentlichen Katalysatorpaketen engmaschige Siebe angebracht, die größere Staubfraktionen zurückhalten, bis sie durch die Gasbewegung im Abgasstrom zerrieben sind und die Katalysatoren ungehindert passieren können. Diese Siebe werden wöchentlich einmal von evtl. Rückständen gereinigt (15 – 20 Min. Zeitaufwand).

Tabelle 6: Katalysatoren in Krematorien

	high-dust	low-dust
Katalysatoreinsatz	vor dem Filter	hinter dem Filter
Betriebstemperatur	350 – 420 °C	180 – 250 °C
Druckverlust	5 – 10 mbar	3 – 8 mbar
Staubbelastung (mg/Nm <sup>3</sup> )	Mittel ca. 100 - 200	Niedrig < 10
Abbaurrate	95 - 99 %	> 99 %

Darüber hinaus sind diese Baugruppen mit einer Differenzdrucküberwachung ausgerüstet, die einen zu hohen Druckverlust durch Verstopfung signalisiert. Im bisherigen Betrieb aller Aggregate ist ein sehr großer Druckverlust aber nur wenige Male vorgekommen. Dabei lag der Differenzdruck immer über 20 mbar und war auf einen längeren Zeitraum ohne Reinigung der Siebe zurückzuführen. Nach der Reinigung lag der Differenzdruck in allen Fällen wieder im normalen Bereich von < 5 mbar.

Das bisher am längsten im Einsatz befindliche Katalysatorpaket ist nunmehr fast 5.000 Betriebsstunden in Nutzung. Aus einem anderen Katalysatorsatz wurde nach rund 1.200 Betriebsstunden eine Probe entnommen und die Katalysatoraktivität überprüft. Es konnte kein nennenswerter Abfall der Aktivität durch Ablagerung, Alterung oder chemische Einflüsse festgestellt werden [14]. Somit ist die immer wieder unterstellte Gefährdung durch sogenannte Katalysatorgifte [15] bisher nicht nachweisbar.

Tabelle 5: Vergleich – Flugstromverfahren ? Katalysatorverfahren

	Flugstromverfahren	Katalysatorverfahren
Mechanismus des Schadstoffabbaus	Adsorptiv - die Schadstoffe werden an einem Adsorbens angelagert.	Katalytisch - die Schadstoffe werden chemisch abgebaut.
Kurze Verfahrensbeschreibung	Ein Adsorbens wird dem Rauchgasstrom vor dem Filter zugesetzt (ingedüst), wobei die Dosierung eingestellt werden muss. Das Adsorbens verteilt sich fein im Abgasstrom und wird in dem nachgeschalteten Filter abgeschieden. Der Schadstoffübergang findet hauptsächlich im Filter statt. Bei jeder Filterabreinigung wird das beladene Sorbens zusammen mit der Filterasche in die Abfalltonne befördert bzw. teilweise dem Rauchgas zu nochmaligen Verwendung zugeführt.	Ein Katalysator wird vor oder hinter einem Filter angeordnet. Das Rauchgas wird durch die Katalysatorwaben (keramische Wabenkörper mit durchgängigen Kanälen) geleitet, wobei die Schadstoffe oxidiert (abgebaut) werden. Dabei kommt es zur Umwandlung in die unkritischen Verbindungen H <sub>2</sub> O und CO <sub>2</sub> sowie geringste Mengen an HCl. Diese Reaktionen werden durch die sich auf der Oberfläche der Wabenkörper befindlichen Edelmetalloxide katalytisch im betreffenden Temperaturniveau beschleunigt.
Abgebaute Schadstoffe	HF; HCl; SO <sub>x</sub> ; Hg; Dioxine und Furane	Dioxine und Furane sowie andere Kohlenwasserstoffe
Wirksame Komponenten	Gemisch aus Herdofenkoks und Kalk (35% / 65 %)	Edelmetalle bzw. Metalloxe aus Titan, Wolfram, Vanadium und Molybdän
Betriebstemperatur	max. 160 °C	200 – 420 °C
Standzeit	Wird von den mechanischen Bauteilen bestimmt.	3 Jahre Gewährleistung 5 – 6 Jahre Erwartung
Ersatzinvestition	k. A.	ca. 20.000 bis 35.000 DM Netto (je nach Katalysatorvolumen)
Zu entsorgende Abfallmenge	Steigt um das 2 – 10 -fache gegenüber der reinen Filterstaubmenge an.	Keine Erhöhung der Abfallmenge, da Schadstoffe abgebaut werden.
Sicherheit des Verfahrens (Einhaltung der Grenzwerte)	Nur im Rahmen der vorgegebenen Dosierungsangaben des Lieferanten (Sorbensart und Menge) sicher. Dies kann aber durch Veränderungen jederzeit negativ beeinflusst werden.	Keine Beeinflussungsmöglichkeit, da der Katalysator keinerlei Bedienhandlungen erfordert, d. h. nach erfolgreicher Emissionsmessung hat der Betreiber eine hohe Funktionssicherheit.
Bedienung / Wartung	Von dem Betreiber ist meistens täglich das Sorbens zuzugeben. Die benötigte Menge ist genau auszuwiegen (ca. 10 – 15 Minuten Arbeitszeit). Die Bevorratung und das Handling des Sorbens erfordern einen zeitlichen Aufwand.  Jährlich erfolgt eine Wartung.	Der Katalysator ist ein passives Aggregat und bedarf keinerlei Bedienhandlungen. Er ist bei Betrieb im staubbeladenem Abgas (vor Filter) ggf. 1 x wöchentlich vom Staub zu reinigen (ca. 15 – 30 Minuten Arbeitszeit).  Jährlich erfolgt eine Wartung.
	ca. 0,03 kg/EÄ ca. 1,50 DM/kg ca. 1,50 DM/kg ca. 1 kWh/EÄ ca. 0,60 DM/EÄ ca. 2.000 DM/Jahr ca. 1,80 DM/EÄ	0 kg/EÄ 0 DM/kg 0 DM/kg ca. 0,1 kWh/EÄ ca. 0,36 DM/EÄ ca. 2.000 DM/Jahr ca. 0,36 DM/EÄ

Hingegen gibt es eine tatsächliche Gefährdung der Katalysatoren durch sogenannte Katalysatorbrände. Bei diesen Bränden kommt es durch Ablagerung von Ruß und hohen Gehalten von CO im Abgas zu einer Oxidationsreaktion im Katalysator, bei dem diese Stoffe unter Temperaturerhöhung zu CO<sub>2</sub> reagieren. Eine Temperaturerhöhung über 700 °C führt zur

Schädigung der Wabenoberfläche mit den katalytisch aktiven Zentren, so dass der Katalysator zerstört werden kann.

Um eine solche Temperaturerhöhung festzustellen, wird an der Baugruppe die Eingangs- und Ausgangstemperatur des Rauchgases gemessen. Kommt es zu einem schlagartigen, sehr hohen Temperaturanstieg, so wird der Bypass geöffnet und der Katalysator zum Schutz umgangen.

Bisher ist ein Katalysatorbrand nur in einem Krematorium in der Einfahrphase des Ofens aufgetreten. Als Konsequenz wurde an den nachfolgenden Anlagen die beschriebene Temperaturüberwachung installiert und die Katalysatoren erst nach erfolgreicher Einstellung des Kremationsofens eingesetzt. Bis dahin wurde der Druckverlust des Aggregates durch Lochbleche oder Dummy-Kats simuliert.

Im bestimmungsgemäßen Betrieb der Anlage ist aber mit so hohen CO-Emissionen, die eine Gefährdung für den Katalysator darstellen können, nicht zu rechnen und auch nicht vorgekommen.

Somit bleibt festzustellen, dass Katalysatoren bei geeigneter Auslegung und unter Berücksichtigung ihrer Besonderheiten erfolgreich in eine Kremationsanlage installiert werden können. Dabei ist sowohl die Möglichkeit vor dem Filter zwischen den Wärmetauschern oder hinter einem Filter gegeben.

Die erste Möglichkeit ist besonders für Neubauten geeignet, da der Katalysator als Bestandteil der Wärmetauscherbaugruppe sehr kostengünstig installiert werden kann (gemeinsames Gehäuse und Steuerung, kein zusätzlicher Platzbedarf). Für Umrüstungen kommt diese Variante nur in Betracht, wenn neben dem Katalysatoreinbau auch die Wärmetaucher gewechselt werden müssen.

Die Variante hinter dem Filter ist besonders für Umrüstungen bestehender Anlagen geeignet, wenn der Filter eine Betriebstemperatur von mindestens 200 °C erlaubt und dafür auch ausgelegt ist. Dann braucht zur Installation eines solchen Katalysators lediglich die Reingasleitung hinter dem Filter geöffnet und die Baugruppe aufgestellt und eingebunden werden. Ein Wiederaufheizen des Rauchgases ist bei dieser Variante nicht notwendig.

Sollte der Filter nicht für Betriebstemperaturen von mind. 200 °C ausgelegt sein, so gibt es folgende Möglichkeiten:

1. Wiederaufheizen des Abgases auf Temperaturen über 200 °C
2. Umrüstung des Filters für erhöhte Betriebstemperaturen von mind. 200 °C
3. Einsatz eines Katalysatormaterial, welches auch bei niedrigeren Temperaturen noch aktiv ist

Die ersten beiden Möglichkeiten sind hinsichtlich ihrer Kosten problematisch, müssen aber im Einzelfall alternativ überprüft werden, wobei Punkt 1 auf Grund bleibender erhöhter Betriebskosten durch den Energieverbrauch beim Aufheizen sicherlich am wenigsten in Betracht kommt.

Der denkbare Einsatz von Katalysatormaterialien bei noch tieferen Temperaturen (siehe oben Punkt 3) ist derzeit durch eine Neuentwicklung eines Filtermedienherstellers möglich geworden [16], der ein Filtermaterial entwickelt hat, welches in einem Temperaturniveau von 150 – 260 °C katalytisch aktiv ist und neben der Staubabscheidung auch einen Abbau der Dioxine und Furane realisiert. Das Filtermedium kann in vorhandene Gewebefilter eingebaut werden. Dazu liegen erste Ergebnisse vor.

## 6. Zusammenfassung

Dioxine und Furane werden zu einem geringen Anteil durch den Leichnam in die Verbrennung eingetragen. Der überwältigende Anteil an der Schadstofffracht im Abgas wird durch Bildung aus nichtchlorierten organischen Materialien bei Anwesenheit einer Chlorquelle im Temperaturbereich zwischen 450 und 250 °C gebildet. Dabei stammen die nichtchlorierten organischen Materialien aus unvollständiger Verbrennung, so dass einer effektiven Verbrennungsregelung eine besondere Bedeutung beikommt. Daneben ist die häufige Säuberung der Anlage von Flugstaub ebenso wichtig, da der Staub der Ort der Entstehung der Dioxine und Furane in der Kremationsanlage ist.

Kremationsanlagen mit niedrigem Dioxinbildungspotential haben eine Rohgasbeladung zwischen 0,3 und 1,0 ng TE/Nm<sup>3</sup>, so dass der Abbau dieser Schadstoffe mittels einstufiger Verfahren bei einer Abbaurrate > 95 % möglich ist. Dabei kommt für die tatsächliche Vernichtung nur das Katalysatorverfahren in Frage, alle anderen Verfahren beseitigen die Dioxine und Furane nicht, sondern lagern sie nur in einem Sorbens an.

Es gibt derzeit eine Reihe von realisierten Verfahrensmöglichkeiten zum Einsatz von Katalysatoren zur Dioxine- und Furaneminimierung sowohl bei Krematoriumsneubauten als auch bei der Umrüstung vorhandener Anlagen. Die dabei nachgewiesenen Abbauraten für diese Schadstoffe liegen bei richtiger Wahl und Dimensionierung bei über 95 %. Die Investitionskosten liegen mittlerweile nicht mehr höher als für vergleichbare Anlagen mit Sorbenstechnik. Im Betriebskostenvergleich ist die noch nicht abzusehende Standzeit ein Faktor, der im Moment noch manchen Krematoriumsbetreiber vom Einsatz der Katalysatoren abhält. Sollten die in der Abfallverbrennung realisierten Standzeiten von weit über 10.000 Betriebsstunden auch für Krematorien erreichbar sein, so sind die Ersatzinvestitionen von ca. 20.000 bis 35.000 DM für einen neuen Katalysator niedriger als die laufenden Betriebskosten bei einer Sorbensanlage, zumal die Katalysatorpreise bei weiterer Verbreitung sinken, die Entsorgungskosten für kontaminiertes Sorbens aber sicherlich steigen werden.

## 7. Literaturquellen

- [1] Bayrisches Landesamt für Umweltschutz: Stand der Technik der Luftreinhaltung bei Einäscherungsanlagen; Seminar am 01. Dezember 1992 in Wackersdorf
- [2] G. Mayer-Schwinnig, H. Herden: Minderungstechniken zur Abgasreinigung für PCDD/PCDF; VDI Bericht Nr. 1298, 1996; S 191 – 229
- [3] J. Jäger, B. Zeschmar-Lahl: Ermittlung und Verminderung von Dioxin- und Furanemissionen aus thermischen Prozessen; EP 10/92; S. 680 - 687
- [4] E. Richter: Die Abscheidung von polychlorierten Dioxinen und Furanen aus Abgasen mit Aktivkoksverfahren; Chem.-Ing.-Tech. 64 (1992) Nr. 2; S. 125 - 136
- [5] B. Nowitzki: Dioxin-Abbau durch Wabenkatalysatoren; VGB Kraftwerkstechnik 74 (1994); Heft 11; S. 984 - 987
- [6] U. Glinka, K. Keldenich, U. Kersken: Rauchgasreinigung bei MVA; EP 1-2/95; S. 49 - 54
- [7] Studie zum Stand der Technik der Krematorien im Bundesgebiet; Martin - Lutter - Universität Halle – Wittenberg; Fachbereich Verfahrenstechnik; 15.12.1998
- [9] VDI 3891; Emissionsminderung Einäscherungsanlagen; Gründruck der neuen Fassung
- [9] Jörg Blech: "Giftdeponie Mensch"; Stern 20/95
- [10] VDI 3476 "Katalytische Verfahren der Abgasreinigung"
- [11] Hagenmaier, Hanspaul, Prof.; "Verfahren zur Verringerung der Emission von organischen Produkten unvollständiger Verbrennung"; Patentschrift – Nr. DE 40 21 135 A1; Anmeldetag 03.07.1990
- [12] Sonderdruck 13.07.012; Katalysatorwerke Hüls GmbH; "Katalytische Dioxin-Minderung"; erschienen in: BWK/TÜ/Umwelt-Special; März 1994
- [13] Prospekt Siemens AG; "DIOx-Katalysatoren zerstören Dioxine in den Rauchgasen von Müllverbrennungsanlagen"; 1995
- [14] Siemens Untersuchungsbericht PK 1-Joi/99/20 vom 28.07.1999
- [15] R. Sircar, U. Tamm, Prof. Dr. R. Säuberlich: Neue Methoden für die technische Modernisierung von Krematorien; Friedhofskultur 08/99; S. 33 – 35
- [16] Dr. O. Petzoldt: Warum kompliziert, wenn es auch einfach geht ?; Friedhofskultur 08/99; S. 36 – 37

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.